UDC: 004.932 DOI: https://doi.org/10.15407/jai2021.02.55

SEARCH FOR IDENTICAL REGIONS IN IMAGES USING INVARIANT MOMENTS

P. Sabelnikov[1], Yu. Sabelnikov[2]

[1, 2] V. M. Glushkov Institute of Cybernetics of the NAS of Ukraine, Ukraine
Academik Glushkov Ave., 40, Kyiv, 03187

[1] https://orcid.org/0000-0003-4709-8693

[2] https://orcid.org/0000-0003-3488-7140

Abstract. One of the ways to describe objects on images is to identify some of their characteristic points or points of attention. Areas of neighborhoods of attention points are described by descriptors (lots of signs) in such way that they can be identified and compared. These signs are used to search for identical points in other images.

The article investigates and establishes the possibility of searching for arbitrary local image regions by descriptors constructed with using invariant moments.

A feature of the proposed method is that the calculation of the invariant moments of local areas is carried out with using the integral representation of the geometric moments of the image.

Integral representation is a matrix with the same size as the image. The elements of the matrix is the sums of the geometric moments of individual pixels, which are located above and to the left with respect to the coordinates of this element. The number of matrices depends on the order of the geometric moments. For moments up to the second order (inclusively), there will be six such matrices. Calculation of one of six geometric moments of an arbitrary rectangular area of the image comes down up to 3 operations such as summation or subtraction of elements of the corresponding matrix located in the corners of this area. The invariant moments are calculated on base of six geometric moments.

The search is performed by scanning the image coordinate grid with a window of a given size. In this case, the invariant moments and additional parameters are calculated and compared with similar parameters of the neighborhoods of the reference point of different size (taking into account the possible change in the image scale). The best option is selected according to a given condition.

Almost all mass operations of the procedures for calculating the parameters of standards and searching of identical points make it possible explicitly perform parallel computations in the SIMD mode.

As a result, the integral representation of geometric moments and the possibility of using parallel computations at all stages will significantly speed up the calculations and allow you to get good indicators of the search efficiency for identical points and the speed of work.

Keywords: computer vision, images, characteristic points, identical regions, invariant moments.

ПОШУК ТОТОЖНИХ ОБЛАСТЕЙ У ЗОБРАЖЕННЯХ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ ІНВАРІАНТНИХ МОМЕНТІВ

П. Ю. Сабельніков[1], Ю. А. Сабельніков[2]

[1, 2] Інститут кібернетики імені В. М. Глушкова НАН України, Україна
пр. Академіка Глушкова, 40, м. Київ, 03187

[1] https://orcid.org/0000-0003-4709-8693

[2] https://orcid.org/0000-0003-3488-7140

Анотація. Одним із способів опису об'єктів на зображеннях є виявлення деяких їх характерних точок або точок уваги. Області околиць точок уваги описуються дескрипторами (множиною ознак) таким чином, щоб їх можна було ідентифікувати та порівняти. За цими ознаками здійснюється пошук тотожних точок на інших зображеннях.

У статті досліджено і встановлено можливість пошуку довільних локальних областей зображень за дескрипторами, побудованими з використанням інваріантних моментів. Особливістю пропонованого методу є те, що обчислення інваріантних моментів локальних областей здійснюється із застосуванням інтегрального представлення геометричних моментів зображення.

Інтегральне представлення – це матриця такого ж розміру, як і зображення. Елементами матриці є суми геометричних моментів окремих пікселів, які знаходяться вище й ліворуч відносно координат цього елемента. Кількість матриць залежить від порядку геометричних моментів. Для моментів до другого порядку (включно) таких матриць буде шість. Розрахунок одного з шести геометричних моментів довільної прямокутної області зображення зводиться до трьох операцій типу сумування або віднімання елементів відповідної матриці,

розташованих у кутах цієї області. На базі шістьох геометричних моментів розраховуються інваріантні моменти.

Пошук здійснюється скануванням координатної сітки зображення вікном заданого розміру. При цьому обчислюються інваріантні моменти й додаткові параметри та порівнюються з аналогічними параметрами околиць еталонної точки різного розміру (для врахування можливої зміни масштабу зображення). За заданою умовою обирається кращий варіант.

Практично всі масові операції процедур розрахунку параметрів еталонів і пошуку тотожних точок дозволяють в явному вигляді проводити паралельні обчислення в режимі SIMD.

У підсумку, інтегральне представлення геометричних моментів та можливість застосування паралельних обчислень на всіх етапах значно прискорять розрахунки й дозволять отримати добрі показники щодо ефективності пошуку тотожних точок та швидкості роботи.

Ключові слова: комп'ютерний зір, зображення, характерні точки, тотожні області, інваріантні моменти.

Вступ

У більшості систем комп'ютерного зору активно використовується процес виділення об'єкта уваги або деяких його характеристик для подальших етапів оброблення самого зображення або його частин. На даний час розробка нових методів та алгоритмів для розв'язання задач розпізнавання об'єктів, стеження за ними, визначення їх орієнтації в просторі із залученням апарату стереозору є актуальним напрямком досліджень, про що свідчать чисельні наукові публікації.

Одним із способів опису об'єктів зображень є виявлення деяких їх характерних точок або точок уваги. За рахунок ось таких точок і виконується зіставлення об'єктів, а для пошуку і виявлення точок уваги застосовуються детектори. Якщо зображення може бути представлене набором таких точок уваги, то, звісно, можна суттєво знизити як надлишковість інформації, необхідної для обробки, так і час пошуку зображень.

Щоб локалізувати точки уваги у зображенні, потрібно аналізувати локальне сусідство пікселів, даючи всім локальним ознакам деяку просторову протяжність. Часто це сусідство береться рівним оточенню, яке використовується для визначення ознак. У цьому випадку замість «точки уваги» використовується термін «область». Проте, треба бути уважним, оскільки, коли локальне сусідство пікселя застосовується для локалізації точки уваги, процес виділення ознаки повинен визначати не тільки положення точки уваги, а й розмір та можливу форму локального сусідства. Особливо у процесі геометричних деформацій це суттєво ускладнює процес через те, що розмір і форма мають бути визначені інваріантним шляхом.

Області околиць точок уваги описуються дескрипторами таким чином, щоб їх можна було ідентифікувати та порівняти. У результаті побудови дескрипторів формується множина векторів ознак для вихідного набору характерних точок одного із зображень. За цими ознаками здійснюється пошук тотожних точок на інших зображеннях.

SIFT (Scale Invariant Feature Transform) [1] – один з найбільш відомих дескрипторів, який одночасно є детектором. В основу покладено ідею обчислення гістограми орієнтованих градієнтів в околиці особливої точки. Дескриптор PCA-SIFT [2] по суті є модифікацією SIFT і будується за тією ж схемою, тільки для кожної особливої точки розглядається околиця більшого розміру. Для результуючого набору дескрипторів здійснюється зниження розмірності векторів за допомогою аналізу головних компонентів (Principal Component Analysis, PCA).

Дескриптор SURF (Speeded up Robust Features) [3] також належить до тих дескрипторів, які одночасно виконують пошук особливих точок і створюють їх опис, інваріантний до зміни масштабу й перетворення типу «поворот». Крім того, сам пошук ключових точок має інваріантність у тому розумінні, що повернений об'єкт сцени має той самий набір особливих точок, що і зразок.

Дескриптор GLOH (Gradient Location-Orientation Histogram) [4], який побудований з метою підвищення

надійності, є модифікацією Sift-дескриптора. По факту обчислюється Sift-дескриптор, але використовується полярна сітка розбивки околиці.

При розробці дескриптора DAISY [5] були використані ідеї побудови SIFT- і Gloh-дескрипторів. Аналогічно GLOH, вибирається кругова околиця особливої точки, при цьому окремі блоки представляються не частковими секторами, а колами.

Ціль створення дескриптора BRIEF (Binary Robust Independent Elementary Features) [6] полягала в тому, щоб забезпечити розпізнавання однакових ділянок зображення, які були отримані з різних кутів огляду. При цьому ставилося завдання зменшити кількість виконуваних обчислень. Алгоритм розпізнавання зводиться до побудови випадкового лісу (randomize classification trees) або наївного байєсівського класифікатора на деякій тренувальній множині зображень і наступної класифікації ділянок тестових зображень. Невелика кількість операцій забезпечується представленням вектора ознак у вигляді бінарного рядка і використанням відстані Хеммінга як засобу подібності. Більш ефективною альтернативою дескрипторам BRIEF і SIFT є бінарний дескриптор ORB [7].

Привертають увагу роботи, в яких розглядаються питання порівняння якості й швидкості роботи різних дескрипторів [8].

Мета цієї роботи – дослідити можливості пошуку довільних локальних областей зображень із застосуванням дескрипторів, побудованих з використанням інваріантних моментів, або, як іноді їх ще називають, моментних інваріантів. Особливістю запропонованого у цій статті рішення є те, що обчислення інваріантних моментів локальних областей здійснюється із застосуванням інтегрального представлення геометричних моментів зображення, аналогічно інтегральному представленню зображення, для швидкого обчислення суми яскравостей пікселів його прямокутних областей, як це пропонується в методі Віоли-Джонса [9]. Завдяки цій особливості очікується, що будуть отримані добрі показники ефективності пошуку та швидкості роботи при скануванні зображень.

Алгоритм пошуку тотожних областей з використанням інваріантних моментів

Для досліджень було взято два окремих кадра із відеопослідовності розміром 640x360 пікселів, отриманих в умовах зміщення об'єктів зображення і ракурсу відеозйомки. На першому кадрі обирались довільні точки, а на другому здійснювався їх пошук та відображався результат. У ході дослідження було згенеровано евристичний алгоритм з конкретними характеристиками і параметрами, що природно допускає подальше вдосконалення.

Етапи пропонованого алгоритму для однієї точки.

Етап 1

Перед проведенням наступних процедур кольорові зображення кадрів перетворюються в сірі (напівтонові) і згладжуються фільтром Гауса.

Етап 2

На першому кадрі задається точка та обчислюються характеристики її околиць з розміром $(2 \cdot w_size + 1) \cdot (2 \cdot w_size + 1)$ пікселів, де *w_size* змінюється від 7 до 15. За центральне вибрано вікно, для якого *w_size*=10, тобто вікно з розміром 21x21 піксель, що відповідає зміні масштабу у півтора раза при зменшенні або збільшенні *w_size*.

Для кожної з околиць, прийнятої за еталон, розраховуються інваріантні щодо зсуву зміни масштабу і повороту моменти [10, 11] f_0_et, f_1_et, f_2_et та середня яскравість пікселів околиці заданої точки *h_et* та її чотирьох фрагментів (рис. 1) h_{00}_et, h_{01}_et, h_{10}_et, h_{11}_et розміром $(w_size + 1) \cdot (w_size + 1)$.

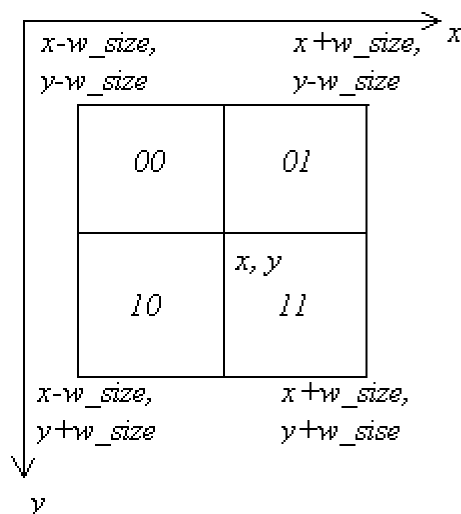


Рис. 1. Околиця заданої точки, поділена на фрагменти

Спочатку обчислюють геометричні моменти околиць з центром координат в лівому верхньому куті зображення.

$$M_{x,y}^{l,k-l} = \sum_{i=x-w_size}^{x+w_size} \sum_{j=y-w_size}^{y+w_size} p_{i,j} \cdot i^{l} \cdot j^{k-l},$$

$l = (0,...,k)$, де:

k – порядок геометричних моментів;

x, y – координати заданої точки;

$M_{x,y}^{l,k-l}$ – геометричні моменти k-го порядку, відповідно далі M^{00}, M^{01}, M^{10}, M^{02}, M^{20}, M^{11} для $k=2$;

$p_{i,j}$ – яскравість пікселя з координатами i, j.

Потім здійснюють перетворення, які відповідають нормалізації відносно зсуву, зміни масштабу і повороту.

Перетворення моментів щодо зсуву визначаються так:

$$\mu_{00} = M^{00},$$

$$\mu_{01} = M^{01} - \Delta y \cdot M^{01},$$

$$\mu_{10} = M^{10} - \Delta x \cdot M^{10},$$

$$\mu_{02} = M^{02} - 2 \cdot \Delta y \cdot M^{01} + \Delta y^{2} \cdot M^{00},$$

$$\mu_{20} = M^{20} - 2 \cdot \Delta x \cdot M^{10} + \Delta x^{2} \cdot M^{00},$$

$$\mu_{11} = M^{11} - \Delta y \cdot M^{10} - \Delta x \cdot M^{01} + \Delta x \cdot \Delta y \cdot M^{00},$$

де Δx, Δy – відстані від лівого верхнього кута зображення до заданої точки (x, y), яка береться за центр координат.

Нормалізація щодо масштабу:

$$\eta_{l,k-l} = \frac{\mu_{l,k-l}}{\mu_{00}^{k/2+1}}.$$

Інваріантні моменти Hu для області зображення нормовані щодо зсуву, зміни масштабу і повороту:

$$f_0 = \eta_{01}^2 + \eta_{10}^2,$$

$$f_1 = \eta_{20} + \eta_{02},$$

$$f_2 = (\eta_{20} - \eta_{02})^2 + 4\eta_{11}^2.$$

Тут f_0 – інваріантний момент за умови, що (x, y) не є центром ваги області.

Середня яскравість пікселів околиць і її фрагментів обчислюється як M^{00} околиці або її фрагментів, поділена відповідно на кількість пікселів у цих областях, наприклад околиці

$$h_et = M^{00} : (2 \cdot w_size + 1) \cdot (2 \cdot w_size + 1)$$

або фрагмента з індексом 00 (див. рис. 1)

$$h_{00_et} = M_{00_et}^{00} / ((w_size + 1) \cdot (w_size + 1)).$$

Етап 3

Для другого кадра обчислюється інтегральне представлення для кожного із моментів k-го порядку

$$M_{x,y}^{l,k-l} = \sum_{i=0}^{x} \sum_{j=0}^{y} p_{ij} \cdot i^{l} \cdot j^{k-l}, \quad l = (0,...,k), \text{ де:}$$

x=(w_size,…, image width - w_size -1);
y=(w_size,…, image height - w_size -1).

Інтегральне представлення – це матриця такого ж розміру, як і розмір зображення. Для $k=2$ таких представлень буде 6, позначимо їх FM^{00}, FM^{01}, FM^{10}, FM^{02}, FM^{20}, FM^{11}. $M_{x,y}^{l,k-l}$ – елементи матриці, які дорівнюють сумі геометричних моментів окремих пікселів зображення, розташованих лівіше і вище координати (x, y) з центром координат *(0, 0)* у лівому верхньому куті.

Інтегральне зображення послідовно сканується центральним вікном (*w_size* = 10). Потім для кожної точки обчислюються характеристики області, замкненої цим вікном. Наприклад, для області, зображеної на рис. 1, $M_{x,y}^{0,0}$ з координатами центру (x, y) дорівнює

$$M_{x,y}^{0,0} = FM_{x+w_size,y+w_size}^{0,0} - FM_{x+w_size,y-w_size-1}^{0,0} - FM_{x-w_size-1,y+w_size}^{0,0} + FM_{x-w_size-1,y-w_size-1}^{0,0}.$$

Аналогічним чином обчислюються геометричні моменти інших порядків, а також, як на другому етапі, всі інваріантні характеристики області – f_0_ob, f_1_ob, f_2_ob, h_ob, h_{00}_ob, h_{01}_ob, h_{10}_ob, h_{11}_ob.

Розраховуються відносні похибки характеристик *delta*, наприклад для f_0:
$delta_ f_0 = 1 - min(f_0_et, f_0_ob) / max(f_0_et, f_0_ob))$, а також інтегральна квадратична похибка – $delta = delta_ f_0^2 + delta_ f_1^2 + delta_ f_2^2$, та здійснюється перевірка за умовою:

```
if ( delta<min_delta
   && delta_ f1<0.05
   && delta_h<0.01
   && delta_h_00<0.05
   && delta_h_01<0.05
   && delta_h_10<0.05
   && delta_h_11<0.05 ).
```

Якщо умови виконуються, зберігаються такі параметри:

```
min_delta=delta;
result_x=x;
result_y=y;
result_w_size= w_size.
```

Після сканування всього зображення і порівняння з характеристиками еталонів для всіх *w_size=7,…,15*, отримуємо координати тотожної точки на другому кадрі, яка відповідає заданій точці на першому кадрі (*result_x*, *result_y*), а також результуючий розмір вікна (*result_w_size*), який свідчить про зміну масштабу.

Результати моделювання

У середньому при завданні різних точок на кадрі 1 правильно було знайдено на кадрі 2 приблизно 75% тотожних їм точок.

На рис. 2 (експеримент № 1) показано тільки 10 точок.

Неправильно знайдено точку 3 та зовсім не знайдено (тобто умова не була виконана жодного разу) точку 6. Околиця навколо точки 6 на кадрі 1 включає об’єкт і фон, на кадрі 2 – також об’єкт і фон, але за рахунок зсуву фон змінився. Тому точка 6 не ідентифікована. Візуально видно, що точки (не враховуючи 3 і 6) достатньо точно знайдені, крім точки 8. Але в її околиці дещо змінилась конфігурація хмар. Числові дані з координатами точок на кадрах 1 і 2 наведено в табл. 1.

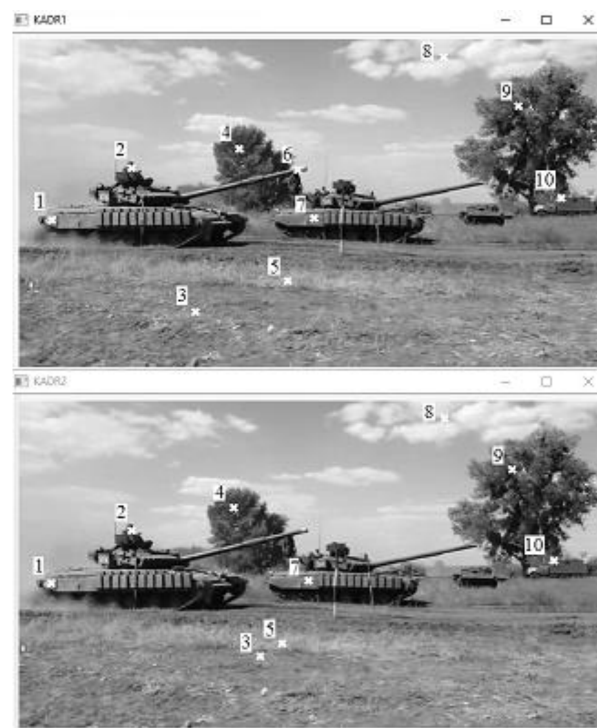


Рис. 2. Результат експерименту № 1

Таблиця 1. Координати точок для кадрів 1 і 2

№ точки	Кадр 1		Кадр 2	
	x	*y*	*x*	*y*
1	36	198	35	200
2	123	141	123	142
3	193	299	264	280
4	241	120	235	117
5	294	265	288	266
6	305	143	---	---
7	323	196	317	197
8	465	19	466	19
9	547	73	540	75
10	594	174	586	175

При зміні умови пошуку (експеримент № 2)

```
if (  delta_ f1<min_delta
   && delta_ f0<0.3
   && delta_ f2<0.3
   && delta_h<0.01
   && delta_h_00<0.05
   && delta_h_01<0.05
   && delta_h_10<0.05
   && delta_h_11<0.05 ),
```

виходячи з того, що f_1 є найбільш стабільним параметром, та збереженні в разі виконання умови $min_delta = delta_ f_1$ результат дещо змінився. Точка 6, як і

раніше, не була знайдена, але точку 3 знайдено в потрібному місці (рис. 3).

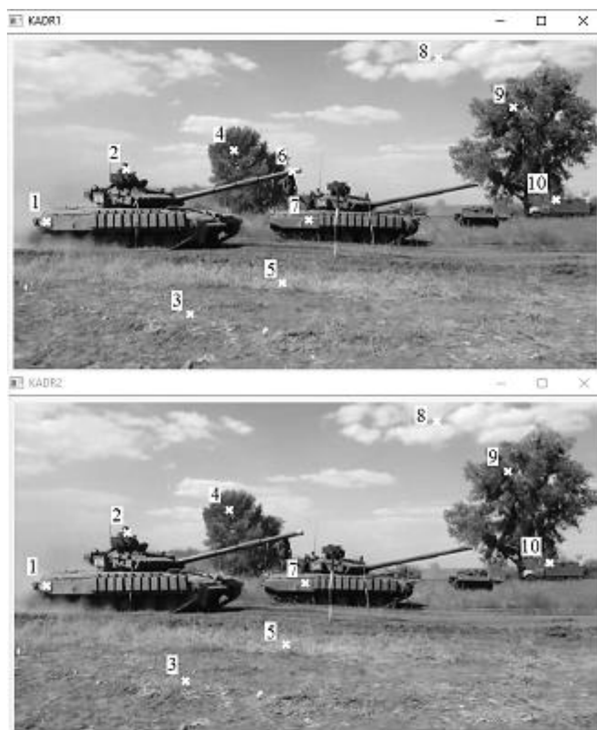


Рис. 3. Результат експерименту № 2

На рис. 4 показано результат третього експерименту. У цьому експерименті h_{00}_*et*, h_{01}_*et*, h_{10}_*et*, h_{11}_*et* та h_{00}_*ob*, h_{01}_*ob*, h_{10}_*ob*, h_{11}_*ob* розраховувались як відношення сум яскравостей пікселів M^{00} відповідних фрагментів і області в цілому. Ці параметри інваріантні до зміни масштабу, а також яскравості зображення. За цими параметрами обчислювались відповідні *delta*. Перевірка здійснювалась за умовою експерименту № 2, але з виключенням перевірки $delta_h<0.01$.

У результаті знайдено всі точки. Але точки 1 і 7 знайдені неправильно, точка 3 незначно зсунута вверх.

З результатів експериментів випливає, що потрібно більш ретельне дослідження умов пошуку та вибору порогів для перевірки параметрів. Можна також розширити набір параметрів, розраховуючи і перевіряючи інваріантні моменти для фрагментів області. Інтегральне представлення геометричних моментів для цього вже сформовано.

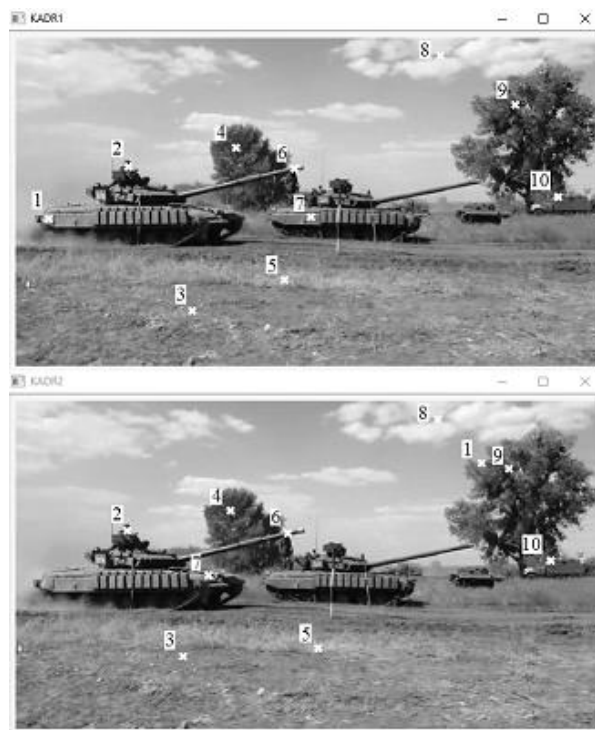


Рис. 4. Результат експерименту № 3

Можливість прискорення пошуку тотожних точок за рахунок паралельних обчислень

Практично всі масові операції процедур розрахунку параметрів еталонів і пошуку тотожних точок, включаючи формування інтегральних представлень геометричних моментів і розрахунок з їх використанням інваріантних моментів, дозволяють в явному вигляді проводити паралельні обчислення в режимі SIMD (архітектура single instruction multiple data). Найбільш відомими процесорними ядрами, що підтримують SIMD-розширення, є ядра компаній Intel і ARM Limited (назва однойменна з назвою архітектури − Advanted RISC Machine). Необхідні для цього векторні операції в цих процесорах є, це – всі арифметичні і логічні операції, операції зчитування і збереження даних, операції дублювання одиночних даних у всіх позиціях вектора, операції підсумовування всіх елементів вектора, операції порівняння векторів, результатом яких є вектори масок, операції визначення номерів позицій перших або останніх у векторі одиниць чи нулів, операції формування з двох векторів вектора мінімальних або максимальних значень, інші операції. Потрібно лише

структурувати дані в запам'ятовувальному пристрої у вигляді векторів з можливістю паралельного доступу до них.

Висновки

Запропонований метод пошуку, на наш погляд, заслуговує уваги, незважаючи на скромні показники результативності пошуку тотожних областей і відсутність належної статистики. Видається доцільним продовжити дослідження у цьому напрямку.

У результаті проведених досліджень встановлено такі позитивні якості методу:

- інваріантність параметрів околиць точок щодо зсуву, зміни масштабу і в незначній мірі від повороту;
- метод дозволяє виявляти точки як на межах об'єктів (де наявні контури), так і на текстурах типу трава чи листя дерев;
- якщо на першому кадрі задано значну кількість точок, доцільним для розрахунку їх еталонних параметрів також буде формування із зображення і використання інтегральних представлень геометричних моментів;
- інтегральне представлення геометричних моментів та можливість застосування паралельних обчислень на всіх етапах значно прискорять розрахунки і дозволять здійснювати пошук тотожних точок у зображеннях в реальному часі;
- детектування характерних точок на обох кадрах, наприклад з використанням функцій бібліотеки OpenCv, зведе задачу до виявлення взаємної відповідності точок на кадрах без сканування всього зображення на кадрі 2, що також значно прискорить обчислення.

Наступним кроком досліджень буде підвищення ефективності пропонованого методу та удосконалення щодо його незалежності від довільного повороту зображень.

References

1. Lowe D. Distinctive image features from scaleinvariant keypoints. *Intern. Journal of Computer Vision*. 2004. № 60. P. 91–110.
2. Ke Y., Sukthankar R. PCA-SIFT: A more distinctive representation for local image descriptors. Proc. of the *Conf. on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR'04),* 2004. V. 2. P. 506–513.
3. Bay H., Ess A., Tuytelaars T., Gool L.V. SURF: speed up robust features. *Computer Vision and Image Understanding (CVIU*). 2008. V. 110, № 3. P. 346–359.
4. Mikolajczyk K., Schmid C. *Scale and affine invariant interest point detectors. Intern. Journal of Computer Vision*. 2004. №60(1). P. 63–86.
5. Tola E., Lepetit V., Fua P. A Fast Local Descriptor for Dense Matching. Proc. of the *IEEE Conf. on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR'08)*. 2008. P. 1–8.
6. Calonder M., Lepetit V., Strecha C., Fua P. BRIEF: Binary Robust Independent Elementary Features. Proc. of the *11th European Conference on Computer Vision (ECCV'10),* 2010.
7. Rublee E., Rabaud V., Konolige K., Bradski G. ORB: an efficient alternative to SIFT or SURF. Proc. of the *Intern. Conf. on Computer Vision (CVPR'11)*. 2011. P. 2564–2571.
8. Koen E.A., Gevers T., Snoek C.G.M. Evaluating color descriptors for object and scene recognition. *IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence*. 2010. V. 32, № 9. P. 1615–1630.
9. P. Viola and M.J. Jones, «Rapid Object Detection using a Boosted Cascade of Simple Features», proceedings IEEE Conf. on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR 2001), 2001
10. Glumov N.I. Postroenie i primenenie momentnykh invariantov dlja obrabotki izobrazhenijj v skolzjashhem okne. Kompjuternaja optika. 1995. № 14. S. 46−54.
11. Sabel'nikov P.Yu. Sravnenie konturov obektov s chastichno iskazhjonnojj formojj. *Journal of Qafqaz University. Mathematics and Computer Science (Baku).* 2012. № 34. S. 47−58.

Література

1. Lowe D. Distinctive image features from scaleinvariant keypoints. *Intern. Journal of Computer Vision*. 2004. № 60. P. 91–110.
2. Ke Y., Sukthankar R. PCA-SIFT: A more distinctive representation for local image descriptors. Proc. of the *Conf. on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR'04),* 2004. V. 2. P. 506–513.
3. Bay H., Ess A., Tuytelaars T., Gool L.V. SURF: speed up robust features. *Computer Vision and Image Understanding (CVIU*). 2008. V. 110, № 3. P. 346–359.
4. Mikolajczyk K., Schmid C. *Scale and affine invariant interest point detectors. Intern. Journal of Computer Vision*. 2004. №60(1). P. 63–86.
5. Tola E., Lepetit V., Fua P. A Fast Local Descriptor for Dense Matching. Proc. of the *IEEE Conf. on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR'08)*. 2008. P. 1–8.
6. Calonder M., Lepetit V., Strecha C., Fua P. BRIEF: Binary Robust Independent Elementary Features.

Proc. of the *11th European Conference on Computer Vision (ECCV'10),* 2010.
7. Rublee E., Rabaud V., Konolige K., Bradski G. ORB: an efficient alternative to SIFT or SURF. Proc. of the *Intern. Conf. on Computer Vision (CVPR'11)*. 2011. P. 2564–2571.
8. Koen E.A., Gevers T., Snoek C.G.M. Evaluating color descriptors for object and scene recognition. *IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence*. 2010. V. 32, № 9. P. 1615–1630.
9. P. Viola and M.J. Jones, «Rapid Object Detection using a Boosted Cascade of Simple Features», proceedings IEEE Conf. on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR 2001), 2001
10. Глумов Н.И. Построение и применение моментных инвариантов для обработки изображений в скользящем окне. *Компьютерная оптика*. 1995. № 14. С. 46−54.
11. Сабельников П.Ю. Сравнение контуров объектов с частично искажённой формой. *Journal of Qafqaz University. Mathematics and Computer Science (Baku).* 2012. № 34. С. 47−58.

Received 29.11.2021
Accepted 10.12.2021